

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/005003

International filing date: 18 March 2005 (18.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-079873
Filing date: 19 March 2004 (19.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 12 May 2005 (12.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2004年 3月19日

出願番号
Application Number: 特願2004-079873

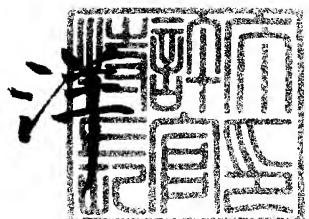
パリ条約による外国への出願に用いる優先権の主張の基礎となる出願の国コードと出願番号
The country code and number of your priority application, to be used for filing abroad under the Paris Convention, is

出願人
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

2005年 4月20日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 7510050072
【提出日】 平成16年 3月19日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 33/00
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地
【氏名】 木下 嘉将
【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地
【氏名】 亀井 英徳
【特許出願人】
【識別番号】 000005821
【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社
【代理人】
【識別番号】 100097445
【弁理士】
【氏名又は名称】 岩橋 文雄
【選任した代理人】
【識別番号】 100103355
【弁理士】
【氏名又は名称】 坂口 智康
【選任した代理人】
【識別番号】 100109667
【弁理士】
【氏名又は名称】 内藤 浩樹
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 011305
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9809938

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板と、
少なくとも In を含む第一の n 型層と、
発光層とを有しております。

前記第一の n 型層は前記基板と前記発光層との間に形成されている、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 2】

前記窒化ガリウム系化合物半導体は GaN である、請求項 1 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 3】

前記基板は研磨されている、請求項 1 または請求項 2 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 4】

研磨された前記基板はエッチングされている、請求項 3 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 5】

前記基板の表面は平坦である、請求項 4 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 6】

前記基板と前記第一の n 型層との間に窒化ガリウム系化合物半導体からなる第二の n 型層が形成されている、請求項 1 ～請求項 5 のいずれか一つに記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 7】

前記第一の n 型層と前記発光層との間に窒化ガリウム系化合物半導体からなる第三の n 型層が形成されている、請求項 1 ～請求項 6 のいずれか一つに記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 8】

前記第三の n 型層はクラッド層である、請求項 7 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 9】

前記 n 型のクラッド層は少なくとも $AlGaN$ または GaN を含む、請求項 8 に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 10】

前記第一の n 型層の厚さは 10 nm ～ $1\text{ }\mu\text{m}$ である、請求項 1 ～請求項 9 のいずれか一つに記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項 11】

前記第一の n 型層は $InAlGaN$ または $InGaN$ である、請求項 1 ～請求項 9 のいずれか一つに記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【書類名】明細書

【発明の名称】窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

【技術分野】

【0001】

本発明は発光ダイオード、レーザダイオード等の光デバイスに利用される窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、窒化ガリウム系化合物半導体は、可視から紫外に亘る波長帯で動作する発光デバイスや高出力及び高温で動作する電子デバイス用の半導体材料として多用されている。（例えば、特許文献1）。窒化物半導体発光素子に用いられる基板として、サファイア基板のような絶縁性の基板に代わってGaN基板のような導電性の基板が用いられるようになってきている。導電性の基板を用いた場合、基板に電流を流すことができるので電流通路の抵抗値を下げて消費電力や動作電圧を低減させることができると、静電耐圧を高めることができるためである。

【0003】

図1に従来の窒化ガリウム系化合物半導体を示す。図1において、n型のGaNからなる基板1の上に、GaNからなるn型層2と、InGaNからなる発光層5と、AlGa_{1-x}In_xNからなるp型層6、が順次積層されている。p型層6の表面上にはp側電極7が形成されており、p型層6の表面側から、p型層6と発光層5とn型層2の一部をエッチングにより除去して露出されたn型層2の表面上に、n側電極8が形成されている。（例えば、特許文献2）

【特許文献1】特開2001-60719号公報

【特許文献2】特開2001-345476号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、基板にGaN基板を用いた場合、GaN基板の表面をフラットにするための研磨を行うため、GaN基板の表面は物理的なダメージを受け、この上に形成した発光層から放射される光が不均一になるという課題があった。

【0005】

本発明はこのような課題を解決したもので、放射される光の均一性を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上記目的を達成するために、窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板と、少なくともInを含む第一のn型層と、発光層とを有しており、第一のn型層は基板と発光層との間に形成されるように構成したものである。フラット化するために表面が研磨された窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板が有している、結晶の不均一な歪みやダメージを少なくともInを含む第一のn型層が緩和する。

【0007】

基板と第一のn型層との間に窒化ガリウム系化合物半導体からなる第二のn型層を形成することにより、窒化ガリウム系化合物半導体基板が持っている微視的な凸凹を埋め込むことができる。また、基板から発光層までの距離を遠ざけることができるため、基板の表面が不純物などによって汚染されているというような界面の影響を受けにくくなる。更に、基板と略同じ格子定数を持つ第二のn型層を基板の上に成長させることにより、新たな歪みを生じさせずに第二のn型層を形成できるので、第二のn型層の上に成長する第一のn型層が安定に形成できる。また、基板から発光層までの距離を遠ざけるためにInを含む層を厚くすると、クラックが入ってしまうが、第二のn型層を厚く成長させるならば、クラックがはいることも防ぐことができる。

【0008】

第一のn型層と発光層との間に窒化ガリウム系化合物半導体からなる第三のn型層を形成することにより、基板から発光層までの距離を遠ざけることができるため、基板の表面が不純物などによって汚染されているというような界面の影響を受けにくくなる。また、基板から発光層までの距離を遠ざけるためにInを含む層を厚くすると、クラックが入ってしまうが、第三のn型層を厚く成長させるならば、クラックがはいることも防ぐことができる。

【発明の効果】

【0009】

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、少なくともInを含む第一のn型層が窒化ガリウム系化合物半導体基板が持っている不均一な歪みやダメージを緩和するため、発光特性のウェハ面内均一性が向上し、歩留まりがよくなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下本発明の実施例について添付図面を参照して説明する。

【0011】

図2において、窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板11の上に、窒化ガリウム系半導体からなる第二のn型層12と、少なくともInを含む第一のn型層13と、クラッド層14と、発光層15と、p型層16、が順次積層されている。p型層16の表面上にはp側電極17が形成されており、p型層16の表面側から、p型層16と発光層15とクラッド層14と第一のn型層13と第二のn型層12の一部をエッチングにより除去して露出された第二のn型層12の表面上に、n側電極18が形成されている。

【0012】

基板11には、n型の窒化ガリウム系化合物半導体($In_aAl_bGa_{1-a-b}N$ (但し、 $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 \leq b \leq 1$ 、 $0 \leq a+b \leq 1$))を使用することができるが、良好な結晶性が得られやすい $Al_cGa_{1-c}N$ (但し、 $0 \leq c \leq 1$)が望ましい。中でも製造が比較的容易で、かつ最も良好な結晶性が得られるGaNからなるものを使用することが最も好ましい。基板11にはSiやGe等のn型不純物がドープされてなくてもよいが、ドープされていた方が素子抵抗を小さくすることができる。ドープする際には、その電子濃度を概略 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ から $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の範囲に制御されたものを用いる。電子濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ よりも低くなると、抵抗率が高くなり、基板11に注入された電子が基板11で広がりにくくなる傾向にあるからであり、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くなると、n型不純物を高濃度にドープしたことに起因して基板11の結晶性が悪くなる傾向にあるからである。

【0013】

第二のn型層12には、基板と略同じ格子定数をもつn型の窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができる。これにより、窒化ガリウム系半導体からなる基板が持っている微視的な凸凹を埋め込むことができる。また、基板11から発光層15までの距離を遠ざけることができるため、基板11の表面が不純物などによって汚染されているというような界面の影響を受けにくくなる。更に基板11と略同じ格子定数を持つ第二のn型層12を基板11の上に成長させることにより、新たな歪みを生じさせずに第二のn型層12を形成できるので、第二のn型層12の上に成長する第一のn型層13が安定に形成できる。また、基板11から発光層15までの距離を遠ざけるためにInを含む層を厚くすると、クラックが入ってしまうが、第二のn型層12を厚く成長させるならば、クラックがはいることも防ぐことができる。第二のn型層12には、GaNやAlGaN、InGaN、InAlGaN等の単層、若しくはこれらの層を積層したものを用いることができる。第二のn型層12には、基板と略同じ格子定数をもつn型の窒化ガリウム系化合物半導体がよいが、InGaN、InAlGaNであってもInの組成が小さければ、基板との格子定数は近くなるので、用いることができる。

【0014】

第二のn型層12は、少なくともn側電極18が形成される層において、SiやGe等のn型不純物がドープされて、その電子濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上で $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 未満とすることが望ましい。電子濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ よりも低くなると、n側電極18とのオーミック接触抵抗が高くなり、発光素子の動作電圧が高くなるからであり、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くなると、n型不純物を高濃度にドープしたことによりして第二のn型層12の結晶性が悪くなる傾向にあるからである。

【0015】

第二のn型層12の層厚は、100nm以上とすることが望ましい。100nmよりも薄いとエッチングにより第二のn型層12内にn側電極18を形成するための露出面を形成する際のエッチング精度が非常に厳しくなるからである。第二のn型層12の層厚の上限は特にはないが、露出面を形成する際のエッチング精度を緩和するとともに、第二のn型層12の形成時間を必要に長くならないようにするために、5μm以下程度とすることが望ましい。

【0016】

少なくともInを含む第一のn型層13には、InGaNやInAlGaNやInAlNからなる単層、またはこれらのInを含む層を少なくとも一層含む多層膜層、またはこれらのInを含む層のうちの一層とGaNやAlGaN等のInを含まない層を交互に積層した多層膜層を使用することができる。Inを含む半導体層が相対的に軟らかいので、基板のダメージに由来する不均一な歪みを緩和することができる。その中でも製造がしやすいInGaNが望ましいが、Alが含まれているとバンドギャップを大きくできるため、発光層15から放射された光が吸収されにくくなるので、特に青から紫外発光領域においては、InAlGaNを用いることもできる。第一のn型層13にはInが少なくとも含まれていればよいが、In組成が0.01～0.10が望ましい。0.01より多ければ、軟らかいという効果がより一層でてくるため、基板のダメージに由来する不均一な歪みを吸収し易い。0.10より少ないとIn組成が大きくなることにより第一のn型層13自体に生じる圧縮歪みを小さくできるので、この層自体に欠陥が生じない。従って、結晶性が悪くならない。また、In組成は0.02～0.07が特に好ましい。上記の効果がより顕著であるからである。第一のn型層13の厚さは10nm～1μmが望ましい。第一のn型層13の厚さが10nmより大きいと、ウェハ面内で発光特性を均一化できるという効果が安定して得られる。1μmより薄いと第一のn型層の結晶性の劣化を防止することができ、また第一のn型層13の製造時間の短縮化が図れる。特に、20nm～100nmが好ましい。第一のn型層13の厚さが20nmより大きいと、ウェハ面内で発光特性を均一化できるという効果がより一層安定して得られる。100nmより薄いと第一のn型層の結晶性の劣化をより一層防止することができ、また第一のn型層13の製造時間の短縮化がより一層図れる。また、第一のn型層13にはノンドープでも構わないうが、n型不純物がドープされていることが望ましい。特にSiやGeが好ましい。面内での電流の広がりをよくすることができる。SiやGe等のn型不純物がドープされて、その電子濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上で $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 未満とすることが望ましい。

【0017】

クラッド層14には、GaNやAlGaNを使用することができる。クラッド層14を第一のn型層よりバンドギャップが大きい窒化ガリウム系化合物半導体とすることにより、発光層からの正孔のオーバーフローを効果的に抑制することができる。また、クラッド層14にはn型不純物がドープされていても、n型不純物がドープされていなくてもよい。クラッド層14は第二もしくは第一のn型層よりもキャリア濃度が小さい方がよい。このような構成にすることにより、n型層内で電子が一時的に発光層15側へ流れにくくなり、n型層の面内で電子が均一に広がり、これにより発光層15への均一な電子の注入が実現できるため、発光層15における発光分布が均一となり、その結果、基板11の裏面側の主発光面で均一な面発光が得られるからである。クラッド層14の厚さは、10nm以上で200nm以下の範囲であることが望ましい。10nmよりも薄いと電流広がりの効果が小さくなる傾向にあり、200nmよりも厚くなると発光素子の直列抵抗が高くな

って動作電圧が高くなるからである。

【0018】

発光層15には、第二のn型層12並びにp型層16のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができる。特に、Alを含まないInGaNやGaNを用いると、紫外から緑色の波長域での発光強度を高くすることができる。発光層15がInを含む場合は、膜厚を10nmよりも薄くして単一量子井戸層とすると、発光層15の結晶性を高めることができ、発光効率をより一層高めることができる。

【0019】

また、発光層15は、InGaNやGaNからなる量子井戸層と、この量子井戸層よりもバンドギャップの大きいInGaN、GaN、AlGaN等からなる障壁層とを交互に積層させた多重量子井戸構造とすることもできる。

【0020】

p型層16には、発光層15よりもバンドギャップの大きいp型の窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができる。これにより、p型層16にp型クラッド層としての機能を付与できる。p型層16には、GaNやAlGaN、InGaN、InAlGaN等の単層、若しくはこれらの層を積層したものを用いることができる。特に、発光層15に接する側のp型層としてAlGaNを用いると、発光層15への電子の閉じ込めを効率的に行うことができ、発光効率を高くすることができる。好ましい。

【0021】

p型層16は、p型不純物がドープされて、p型伝導とされている。p型不純物には、Mg、Zn、Cd、C等を用いることができるが、比較的容易にp型とすることができるMgを用いることが好ましい。p型不純物濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上で $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 未満とすることが望ましい。p型不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも低くなると、p側電極17とのオーミック接触抵抗が高くなり、発光素子の動作電圧が高くなるからであり、 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くなると、p型不純物を高濃度にドープしたことによりp型層16の結晶性が悪くなる傾向になるとともに、発光層15へのp型不純物の拡散が顕著になり、発光効率が低下するからである。

【0022】

p型層16に比較的高い濃度のp型不純物をドープする際は、p型不純物の発光層15への過剰な拡散を抑制するために、発光層15とp型層16の間に、中間層を導入することができる。この中間層には、InAlGaNを用いることができるが、特に、GaNやAlGaNを用いると、発光層15との界面の結晶性を良好に保つことができるので好ましい。中間層は、発光層15の方向に拡散するp型不純物の吸収層としての役目を果たすために、アンドープであることが好ましい。中間層の層厚は、1nm以上で50nm以下の範囲であることが望ましい。1nmよりも薄いとp型不純物の発光層15への拡散を抑制する効果が小さくなり、50nmよりも厚くなると発光層15への正孔の注入効率が低下し、発光効率が低下するようになるからである。

【0023】

p型層16の層厚は、50nm以上で500nm以下の範囲とすることが好ましい。50nmよりも薄いとp側電極17の構成金属がエレクトロマイグレーション等による発光層15への侵入により、発光素子の寿命が低下しやすくなり、500nmよりも厚くなると電流（正孔）がp型層16を通過する際の電圧降下が増大し、発光素子の動作電圧が高くなるからである。

【0024】

p型層16のp側電極17に接する側は、バンドギャップの比較的小さいGaNやInGaNとすることができる。これにより、p側電極17との接触抵抗を小さくでき、動作電圧の低減を効果的に行うことができる。

【0025】

p側電極17には、AuやNi、Pt、Pd、Mg等の単体金属、あるいはそれらの合

金や積層構造を用いることができる。特に、発光波長に対する反射率が高いA g、P t、M g、A l、Z n、R h、R u、P d等の金属を用いると、発光層1 5からp側電極1 7の側へ向かう光を反射させて、基板1 1の裏面側から取り出すことができるので、発光強度向上の面で好ましい。

【0026】

n側電極1 8は、第二のn型層1 2の上に形成された第一のn型層1 3とクラッド層1 4と発光層1 5とp型層1 6からなる積層構造の表面側からこれらの一部を除去させて露出させた第二のn型層1 2の表面に接して形成される。n側電極1 8をこのように配置する構成とすることにより、基板1 1の前記積層構造を形成していない裏面側を主発光面とすることができる、主発光面において均一な面発光が得られる。

【0027】

n側電極1 8には、A lやT i等の単体金属、またはA lやT i、A u、N i、V、C r等を含む合金、若しくはそれらの積層構造を用いることができる。

【0028】

また、基板1 1の電子キャリア濃度が第二のn型層1 2の電子キャリア濃度と同等かそれより高い場合は、n側電極1 8は、第二のn型層1 2の上に形成された第一のn型層1 3とクラッド層1 4と発光層1 5とp型層1 6からなる積層構造の表面側からこれらの一部を除去させて露出させた基板1 1の表面に接して形成してもよい。電子キャリア濃度が高い基板1 1にn側電極1 8を設けることにより、n側電極1 8のオーミック接触抵抗を小さくできるので、動作電圧を低くできる。

【0029】

また、n側電極1 8は、基板1 1の発光層1 5とは反対側の表面に接して形成してもよい。n側電極1 8をこのように配置する構成とすることにより、n側電極を形成するスペースを省略することができるので、チップサイズを小さくすることができる。

【0030】

また、n側電極1 8は、第一のn型層1 3の上に形成されたクラッド層1 4と発光層1 5とp型層1 6からなる積層構造の表面側からこれらの一部を除去させて露出させた第一のn型層1 3の表面に接して形成してもよい。バンドギャップの小さい第一のn型層1 3にn側電極1 8を形成することで、n側電極1 8のオーミック接触抵抗を小さくできる。

【0031】

また、発光層1 5とp型層1 6との間にp型クラッド層が形成されていてもよい（図示せず）。p型クラッド層は、発光層1 5のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する窒化ガリウム系化合物半導体で形成され、特にM g等のp型不純物がドープされたA l_uG a_{1-u}N（但し、 $0 \leq u < 1$ ）で形成されることが好ましい。通常、p型クラッド層は、結晶性良く形成させるために、発光層1 5の成長に適した温度よりも高い成長温度で形成されることが多く、このため、発光層1 5の成長後、p型クラッド層の成長温度にまで昇温させる間において、発光層1 5を構成するインジウムや窒素等の構成元素の解離等により発光層1 5の結晶性の劣化が生じることがある。そこで、p型クラッド層の発光層1 5に接する側の一部を、発光層1 5を成長後に昇温させながら連続して成長形成し、p型クラッド層の成長温度において、引き続いて残りのp型クラッド層を成長させると、発光層1 5の結晶性の劣化を効果的に防止することが可能となる。このとき、昇温させながら成長させるp型クラッド層の一部は、A l_vG a_{1-v}N（但し、 $0 \leq v < 1$ 、 $v \leq u$ ）で形成されることが好ましい。発光層1 5に接して形成されクラッド層としての作用を十分達成することができると同時に、発光層1 5の構成元素の解離等による結晶性の劣化を防止する効果を高めることができることからである。

【0032】

また、図3に示すように、n型層は基板1 1側からキャリア濃度の低い第四のn型層3 1とキャリア濃度の高い第五のn型層3 2を含む積層構造を持っててもよい。すなわち、基板1 1側にキャリア濃度の低い第四のn型層3 1を形成した後、この第四のn型層3 1の上にキャリア濃度の高い第五のn型層3 2を形成し、この第五のn型層3 2の上にn側電

極18を形成したものである。

【0033】

このようなキャリア濃度が異なる第四のn型層31及び第五のn型層32を基板11側から順に形成した積層構造とすることによって、第四のn型層31のn型不純物ドープ量を小さくしてキャリア濃度を低くしても、第四のn型層31の層厚を厚く形成することができるので、この第四のn型層31における抵抗の増加とクラックの発生を同時に抑制することができる。そして、第四のn型層31の上に、n型不純物のドープ量を第四のn型層31よりも大きくしてキャリア濃度を高くした第五のn型層32にn側電極8を形成することで、第五のn型層32とn側電極18との間の接触抵抗を低減することができるので、発光素子の動作電圧を下げることができ、消費電力の削減が可能となる。

【0034】

このように、第四及び第五のn型層31、32のそれぞれのキャリア濃度の差を持たせることができ、動作電圧の低減及びクラック発生防止の両面での最適化を促すことができる。そして、それぞれのキャリア濃度の具体的な数値の特定は、本発明者等の知見によれば、以下のとおりである。

【0035】

まず、第四のn型層31のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲とすることが望ましい。この第四のn型層31キャリア濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなると、第四のn型層31自身における直列抵抗が大きくなつて素子の動作電圧が高くなる傾向があり、キャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも大きくなると、クラックが発生しやすくなる傾向があるためである。

【0036】

第四のn型層31よりもキャリア濃度の高い第五のn型層32のキャリア濃度は、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とすることが望ましい。この第五のn型層32のキャリア濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ よりも小さくなると、n側電極18との間の接触抵抗を十分に低減することは困難になり、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ よりも大きくなると、この層の結晶性が悪くなる傾向があり、この上に成長させる発光層やp型層の結晶性が悪くなつて発光出力が低下する恐れがある。

【0037】

また、第五のn型層32は第四のn型層31の層厚よりも小さくし、特に $100 \sim 500 \text{ nm}$ の範囲とすることが好ましい。 100 nm よりも薄くになると、p型層16と発光層15とクラッド層14と第一のn型層13と第五のn型層32の一部を除去してn型層の表面を露出させるエッチングの深さを制御することが困難になる。また、 500 nm よりも厚くなると、第五のn型層32の結晶性が悪くなり、この第五のn型層32の上に成長させる第一のn型層13やクラッド層14や発光層15やp型層16の結晶性が悪くなつて発光出力が低下する恐れがある。

【0038】

第四のn型層31の層厚は、 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ の範囲とすることが好ましい。 $1 \mu\text{m}$ よりも薄くなると、素子の直列抵抗が大きくなつて動作電圧が高くなる傾向があり、 $5 \mu\text{m}$ よりも厚くなると、クラックが発生しやすくなる傾向があるためである。また、上記説明を行ったように、基板11と第一のn型層13との間に第四のn型層31と第五のn型層32が形成され、第一のn型層13と発光層15との間に、キャリア濃度の低いn型層とキャリア濃度の高いn型層含む積層構造が形成されていてもよい。更に、図示はしないが、第一のn型層13と発光層15との間のみに、キャリア濃度の低いn型層とキャリア濃度の高いn型層含む積層構造が形成されていてもよい。

【0039】

(実施の形態1)

次に本発明における実施の形態1を説明する。本実施の形態1と上述した発明を実施するための最良の形態との間で異なる点は、少なくとも1nを含む層の上に窒化ガリウム系

化合物半導体からなる第三のn型層が形成されていることである。すなわち、少なくともInを含む層は、窒化ガリウム系化合物半導体からなるn型層に挟まれた構造となる。これ以外については、特に説明しない限りは基本的には発明を実施するための最良の形態と同様である。

【0040】

図4に示す、第三のn型層19には、SiやGe等のn型不純物がドープされて、その電子濃度を $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ とすることが望ましい。電子濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ よりも低くなると、n側電極18とのオーミック接触抵抗が高くなり、発光素子の動作電圧が高くなるからであり、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ よりも高くなると、n型不純物を高濃度にドープしたことに起因して第二のn型層12の結晶性が悪くなる傾向にあるからである。

【0041】

第三のn型層19の層厚は、100nm以上とすることが望ましい。100nmよりも薄いとエッティングにより第三のn型層19内にn側電極18を形成するための露出面を形成する際のエッティング精度が非常に厳しくなるからである。第三のn型層19の層厚の上限は特にないが、露出面を形成する際のエッティング精度を緩和するとともに、第三のn型層19の形成時間を必要に長くならないようにするために、5μm以下程度とすることが望ましい。また、n側電極18は第三のn型層19上に形成される。

【実施例】

【0042】

以下、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の製造方法の具体例について図面を参照しながら説明する。以下の実施例は、主として有機金属気相成長法を用いた窒化ガリウム系化合物半導体の成長方法を示すものであるが、成長方法はこれに限定されるものではなく、分子線エピタキシー法や有機金属分子線エピタキシー法等を用いることも可能である。

【0043】

(実施例1)

図2は本発明の他の実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【0044】

本実施例においては、図2に示す窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を作製した。

【0045】

まず、ハライド気相成長法によりサファイア基板の表面に約370μmの厚さで成長したGaN単結晶膜を、サファイア基板の裏面から波長355nmのYAGレーザ光を照射することでサファイア基板から剥離した。次に剥離したGaN単結晶膜を剥離した側の面を下にして円盤に貼り付け、研磨装置を用いてダイヤモンドの微粒子を含む砥粒により表面を平坦且つ鏡面に研磨した。この後、GaN単結晶膜を円盤から剥がして有機溶剤及び酸溶液により洗浄した。こうしてGaN単結晶膜からなる厚さ約350μm、直径約50mmのGaN基板11を得た。

【0046】

次に、基板11を反応管内の基板ホルダーに載置した後、基板11の温度を1060℃に10分間保ち、水素ガスを7リットル/分、窒素ガスを7リットル/分、アンモニアを6リットル/分で流しながら基板11を加熱することにより、基板11の表面に付着している有機物等の汚れや水分を取り除くためのクリーニングを行った。

【0047】

次に、基板11の温度を1060℃に保持したままで、キャリアガスとして窒素ガスを7リットル/分及び水素ガスを7リットル/分で流しながら、アンモニアを6リットル/分、トリメチルガリウム(以下、TMGと略称する。)を $80 \mu \text{mol}/\text{分}$ 、 10 ppm 希釈のモノシランを $30 \text{ cc}/\text{分}$ で供給して、SiをドープしたGaNからなる第二のn型層12を $2 \mu \text{m}$ の厚さで成長させた。この第二のn型層12の電子濃度は $3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ である。

8 cm^{-3} であった。

【0048】

第二の n 型層 12 を成長後、TMG とモノシランとの供給を止め、基板 11 の温度を 760 °C まで降下させ、この温度に維持して、キャリアガスとして窒素ガスを 1.4 リットル/分で流しながら、アンモニアを 6 リットル/分、TMG を $1.2 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、トリメチルインジウム（以下、TMI と略称する。）を $1 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、モノシランを $1.5 \text{ cc}/\text{分}$ 、で供給して、Si ドープの In_{0.05}Ga_{0.95}N からなる第一の n 型層 13 を 50 nm の厚さで成長させた。第一の n 型層 13 の電子濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0049】

第一の n 型層 13 を成長後、TMI の供給を止め、キャリアガスとして窒素を 1.4 リットル/分、アンモニアを 6 リットル/分、TMG を $2 \mu\text{mol}/\text{分}$ で供給して、基板 1 の温度を 1060 °C に向けて昇温させながら、引き続きアンドープの GaN（図示せず）を 3 nm の厚さで成長させ、基板 11 の温度が 1060 °C に達したら、キャリアガスとして窒素ガスを 8 リットル/分及び水素ガスを 8 リットル/分で流しながら、アンモニアを 4 リットル/分、TMG を $4.0 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、トリメチルアルミニウム（以下、TMA と略称する。）を $3 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、で供給して、アンドープの Al_{0.05}Ga_{0.95}N からなるクラッド層 14 を 30 nm の厚さで成長させた。このクラッド層 14 の電子濃度は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0050】

クラッド層 14 を成長後、TMG と TMA の供給を止め、基板 11 の温度を 700 °C にまで降下させ、この温度に維持して、キャリアガスとして窒素を 1.2 リットル/分、アンモニアを 8 リットル/分、TMG を $4 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、TMI を $5 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、で供給して、アンドープの In_{0.15}Ga_{0.85}N からなる量子井戸構造の井戸層（図示せず）を 2 nm の厚さで成長させた。

【0051】

井戸層を成長後、TMI の供給を止め、キャリアガスとして窒素を 1.2 リットル/分、アンモニアを 8 リットル/分、TMG を $2 \mu\text{mol}/\text{分}$ で供給して、基板 1 の温度を 1060 °C に向けて昇温させながら、引き続きアンドープの GaN 障壁層（図示せず）を 3 nm の厚さで成長させ、基板 11 の温度が 1060 °C に達したら、キャリアガスとして窒素と水素を各々 7 リットル/分と 7 リットル/分で流しながら、アンモニアを 6 リットル/分、TMG を $4.0 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、で供給して、引き続きアンドープの GaN 障壁層（図示せず）を 12 nm の厚さで成長させた。こうしてアンドープの GaN からなる厚さ 15 nm の障壁層を形成した。そして、TMG の供給を止め、基板温度を再度 700 °C まで降下させ、井戸層（図示せず）と障壁層（図示せず）の製法と同様の手順を繰り返すことにより、井戸層（図示せず）、障壁層（図示せず）、井戸層（図示せず）、障壁層（図示せず）、井戸層（図示せず）を形成した。

【0052】

最後の井戸層（図示せず）を成長後、TMI の供給を止め、キャリアガスとして窒素を 1.4 リットル/分、アンモニアを 6 リットル/分、TMG を $2 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、TMA を $0.15 \mu\text{mol}/\text{分}$ で供給して、基板 11 の温度を 1060 °C に向けて昇温させながら、引き続きアンドープの Al_{0.05}Ga_{0.95}N（図示せず）を 3 nm の厚さで成長させた。

【0053】

このようにして、4 層の井戸層からなる MQW を形成した。

【0054】

次に、基板温度が 1060 °C に達したら、キャリアガスとして窒素ガスを 1.0 リットル/分及び水素ガスを 6 リットル/分で流しながら、アンモニアを 4 リットル/分、TMG を $4.0 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、TMA を $3 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム（以下、Cp₂Mg と略称する。）を $0.1 \mu\text{mol}/\text{分}$ 、で供給して、Mg をドープし

たAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなるp型層16を200nmの厚さで成長させた。このp型層16のMg濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0055】

p型層16を成長後、TMGとTMAとCp₂Mgの供給を止め、窒素ガスを18リットル/分、アンモニアを2リットル/分で流しながら、基板11の温度を室温程度にまで冷却させて、基板11の上に窒化ガリウム系化合物半導体が積層されたウェハーを反応管から取り出した。

【0056】

このウェハーを励起光源として波長325nmのHe-Cdレーザ光を用いたフォトルミネッセンスマッピング装置により1mmピッチでフォトルミネッセンス強度のウェハー面内分布を測定したところ、直径50mmのウェハー内で標準偏差は4.1%であった。

【0057】

このようにして形成した窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造に対して、別途アニールを施すことなく、その表面上にCVD法によりSiO₂膜を堆積させた後、フォトリソグラフィとウェットエッチングにより略方形状にパターンニングしてエッチング用のSiO₂マスクを形成させた。そして、反応性イオンエッチング法により、p型層16と発光層15とクラッド層14と第一のn型層13と第二のn型層12の一部を約500nmの深さで積層方向と逆の方向に向かって除去させて、第二のn型層12の表面を露出させた。そして、フォトリソグラフィーと蒸着法により、露出させた第二のn型層12の表面上の一部に、100nm厚のTiと500nm厚のAuを積層したn側電極18を蒸着形成させた。さらに、エッチング用のSiO₂マスクをウェットエッチングにより除去させた後、フォトリソグラフィーと蒸着法により、p型層16の表面上のほぼ全面に、5nmのPtと、500nmのRhと、100nmのTiと、500nm厚のAuとからなるp側電極17を蒸着形成させた。

【0058】

この後、基板11の裏面を研磨して100μm程度の厚さに調整し、スクライブによりチップ状に分離した。このようにして、図2に示す窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が得られた。

【0059】

この発光素子を、電極形成面側を下向きにして、正負一対の電極を有するSiツェナーダイオードの上にAuバンプにより接着させた。このとき、発光素子のp側電極17およびn側電極18が、それぞれSiツェナーダイオードの負電極および正電極と接続されるようして発光素子を搭載する。この後、発光素子を搭載させたSiツェナーダイオードを、Agペーストによりシステム上に載置し、Siツェナーダイオードの正電極をシステム上の電極にワイヤで結線し、その後樹脂モールドして発光ダイオードを作製した。この発光ダイオードを20mAの順方向電流で駆動したところ、ピーク発光波長が約470nmの青色で発光し、基板11の裏面側から均一な面発光が得られた。このときの発光出力は個々の発光ダイオード間ではらつきが小さく、約6mWであった。また、順方向動作電圧は約3.0Vであった。

【0060】

(実施例2)

実施例2においては、上記実施例1において、第二のn型層12を成長する前に、GaN基板11の表面を反応性イオンエッチング法によりエッチングした以外は、上記実施例1と同様の手順で発光ダイオードを作製した。

【0061】

具体的には、上記実施例1と同様の手順で表面を平坦且つ鏡面に研磨したGaN基板11を準備した後、GaN基板11を反応性イオンエッチング装置内にセットし、プロセスガスとして塩素ガスを10sccm流し、高周波パワーを100W、基板温度を50℃として、GaN基板11の表面を約100nmの厚さだけエッチングした。

【0062】

この後、上記実施例1と同様の手順で、GaN基板11の表面に第二のn型層12、第一のn型層13、クラッド層14、発光層15、p型層16を順次成長して、基板11の上に窒化ガリウム系化合物半導体が積層されたウェハーを形成した。

【0063】

次に、上記実施例1と同様の手順で、フォトルミネッセンス強度のウェハー面内分布を測定したところ、直径50mmのウェハー内で標準偏差は3.0%であった。

【0064】

このようにして形成した窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造に対して、上記実施例1と同様の手順で、電極を形成し、さらに実装して発光ダイオードを作製した。この発光ダイオードを20mAの順方向電流で駆動したところ、ピーク発光波長が約470nmの青色で発光し、基板11の裏面側から均一な面発光が得られた。このときの発光出力は個々の発光ダイオード間ではらつきが小さく、約6mWであった。また、順方向動作電圧は約3.0Vであった。

【0065】

(比較例)

比較例においては、上記実施例1において、第一のn型層13を形成しなかった以外は、上記実施例1と同様の手順で発光ダイオードを作製した。

【0066】

具体的には、上記実施例1において、第二のn型層12を成長後、基板11の温度を1060°Cに維持しながら、上記実施例1と同様の手順でアンドープのAl0.05Ga0.95Nからなるクラッド層14を成長させ、引き続き発光層15、p型層16を順次成長して、基板11の上に窒化ガリウム系化合物半導体が積層されたウェハーを形成した。

【0067】

次に、上記実施例1と同様の手順で、フォトルミネッセンス強度のウェハー面内分布を測定したところ、直径50mmのウェハー内で標準偏差は32.9%であった。

【0068】

このようにして形成した窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造に対して、上記実施例1と同様の手順で、電極を形成し、さらに実装して発光ダイオードを作製した。この発光ダイオードを20mAの順方向電流で駆動したところ、ピーク発光波長が約470nmの青色で発光した。このときの発光出力は個々の発光ダイオード間ではらつきが大きく、3mWから6mWの範囲ではらついた。また、順方向動作電圧は3.0Vから3.3Vの範囲ではらついた。

【産業上の利用可能性】

【0069】

本発明は、少なくともInを含む第一のn型層がGaN基板が持っている不均一な歪みやダメージを緩和するため、発光特性のウェハ面内均一性が向上し、歩留まりがよくなるという効果を有し、製造コストの低い発光ダイオード、レーザダイオードを実現可能とする。

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】従来の窒化ガリウム系化合物半導体素子の構造を示す断面図

【図2】本発明の発明を実施するための最良の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体素子の構造を示す断面図

【図3】本発明の発明を実施するための最良の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体素子の構造を示す断面図

【図4】本発明の実施の形態1に係る窒化ガリウム系化合物半導体素子の構造を示す断面図

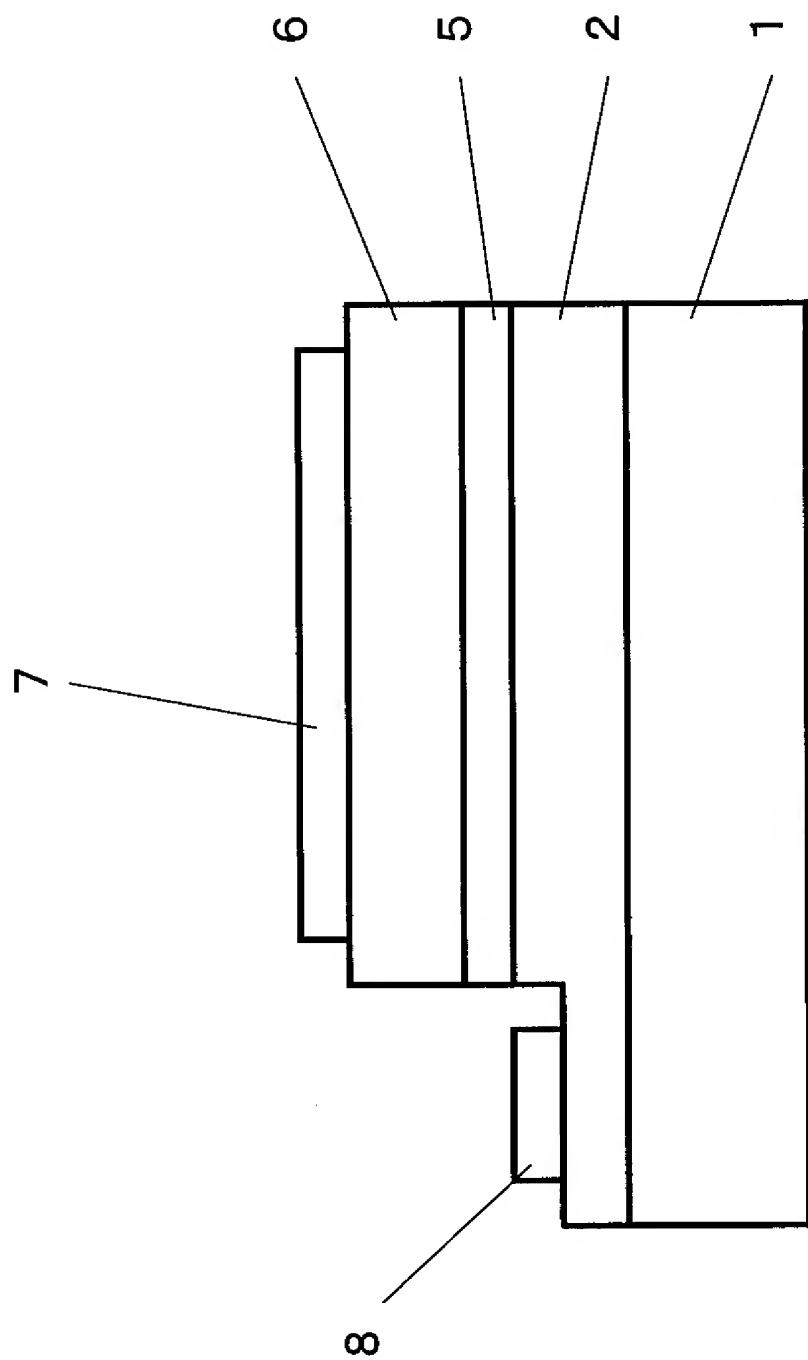
【符号の説明】

【0071】

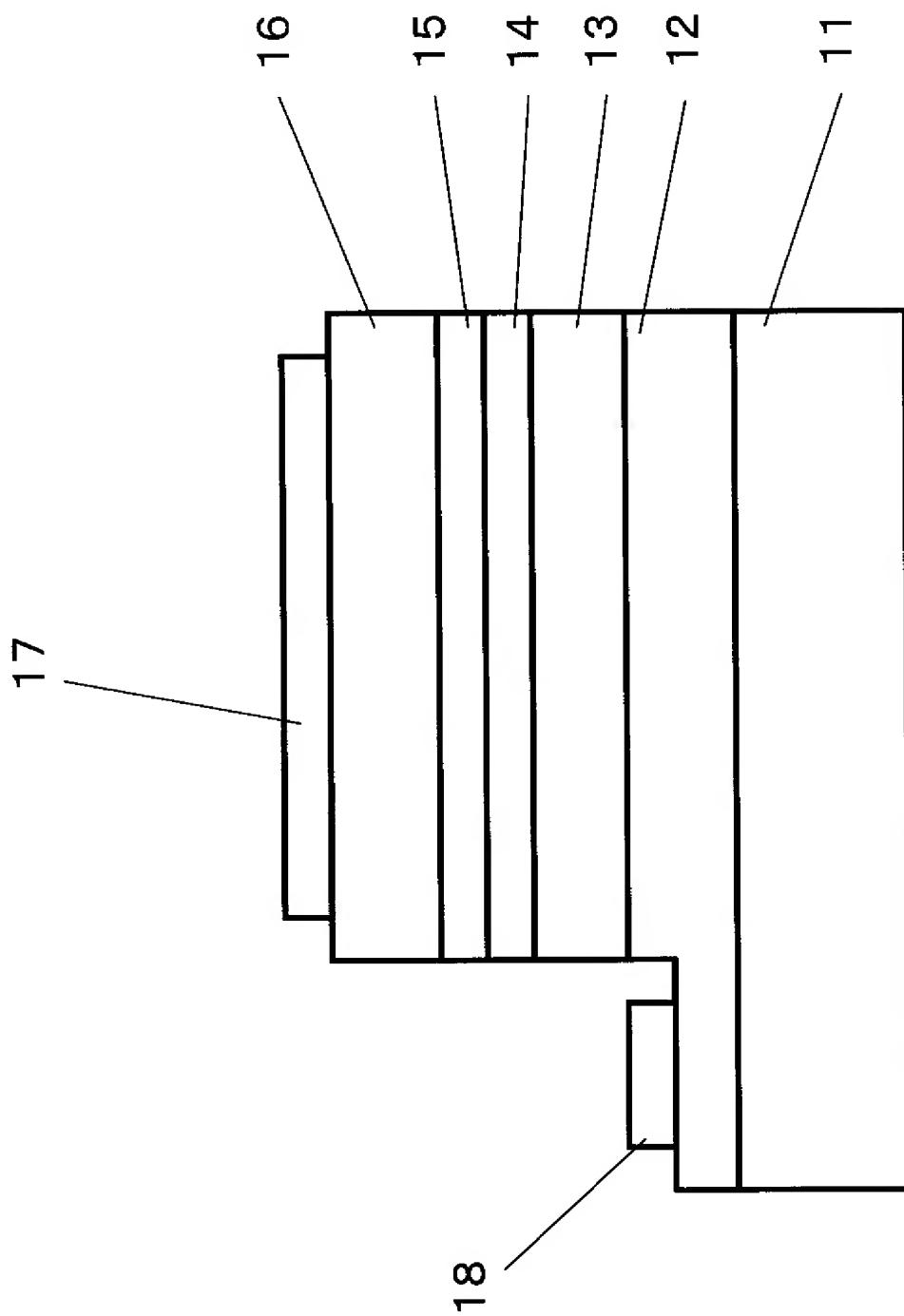
- 1 n型のGaNからなる基板
- 2 GaNからなるn型層
- 5 InGaNからなる発光層
- 6 AlGaNからなるp型層
- 7 p側電極
- 8 n側電極
- 1 1 基板
- 1 2 第二のn型層
- 1 3 第一のn型層
- 1 4 クラッド層
- 1 5 発光層
- 1 6 p型層
- 1 7 p側電極
- 1 8 n側電極
- 1 9 第三のn型層
- 3 1 第四のn型層
- 3 2 第五のn型層

【書類名】 図面

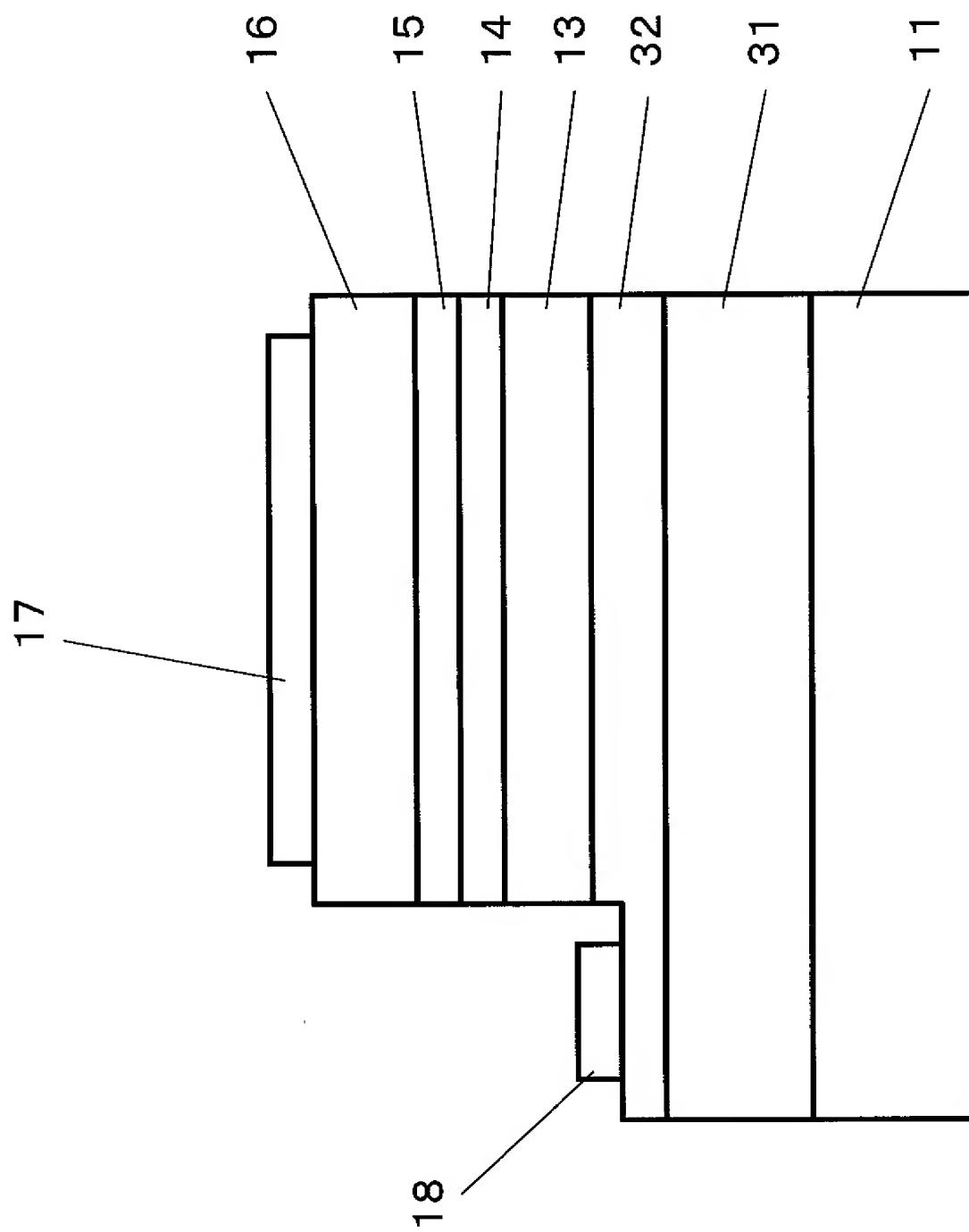
【図 1】



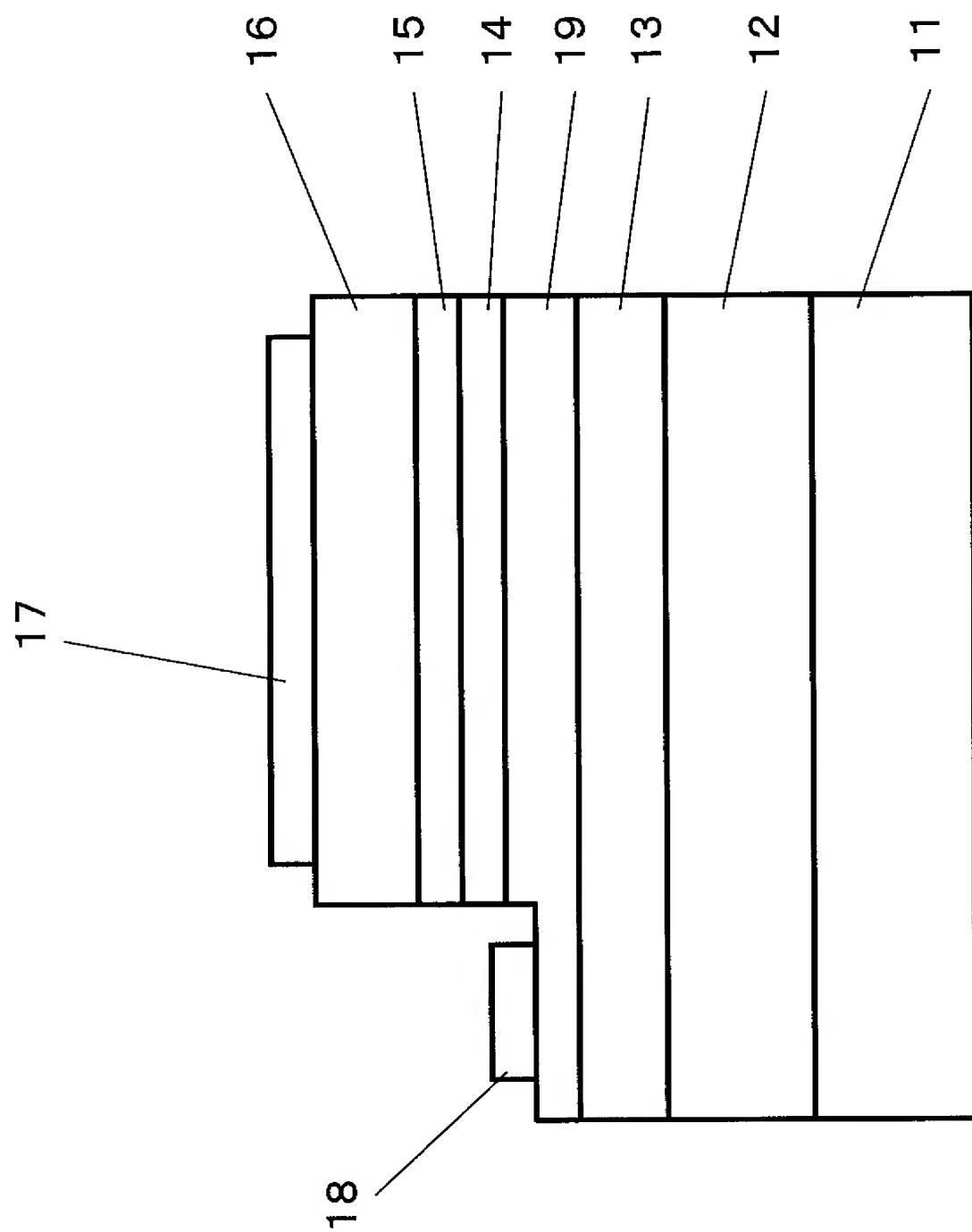
【図2】



【図3】



【図4】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】基板に窒化ガリウム系化合物半導体を用いた場合、窒化ガリウム系化合物半導体基板の表面をフラットにするための研磨を行うため、窒化ガリウム系化合物半導体基板の表面は物理的なダメージを受け、この上に形成した発光層から放射される光が不均一になるという課題を解決し、放射される光の均一性を向上させることを目的とする。

【解決手段】窒化ガリウム系化合物半導体からなる基板11の上に、少なくともInを含む第一のn型層13と、発光層15とが設けられ、第一のn型層13は基板11と発光層15との間に形成されていることによって、放射される光の均一性を向上させることができる。

【選択図】図2

出願人履歴

000005821

19900828

新規登録

大阪府門真市大字門真 1006 番地

松下電器産業株式会社